

METHOD AND APPARATUS FOR MANUFACTURING THIN-FILM SEMICONDUCTOR DEVICE

Patent number: JP2002305146 (A)

Publication date: 2002-10-18

Inventor(s): HIROSHIMA YASUSHI; OGAWA TETSUYA; TOKIOKA HIDETADA

Applicant(s): SEIKO EPSON CORP; MITSUBISHI ELECTRIC CORP

Classification:

- international: H01L21/205; H01L21/20; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786; H01L21/02; H01L29/66; (IPC1-7): H01L21/20; H01L21/205; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786

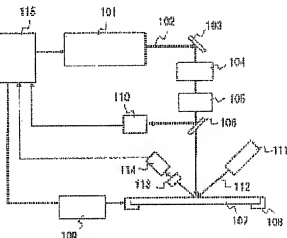
- european:

Application number: JP20010108057 20010406

Priority number(s): JP20010108057 20010406

Abstract of JP 2002305146 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To stably manufacture a polycrystalline semiconductor thin film with high crystallinity. **SOLUTION:** Laser heat treatment is carried out, by irradiating a semiconductor film with a pulse laser light of 370 to 710 nm wavelength. At this time, the region on the semiconductor film irradiated with the pulse laser light is irradiated with an inspection light, and variation in the intensity of the reflected light of the inspection light caused by the irradiation with the pulse laser light is detected. It is confirmed from the intensity variation of the reflected light whether or not a specific crystallization state of the semiconductor film is obtained. When it is confirmed that the specific crystallization state has been obtained, the position of the semiconductor film is moved relative to the pulse laser light irradiation position.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-305146
(P2002-305146A)

(43) 公開日 平成14年10月18日 (2002. 10. 18)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テマコード* (参考) |
|------------------------------|--------|---------|-------------|
| H 0 1 L | 21/20 | H 0 1 L | 21/20 |
| | 21/205 | | 21/205 |
| | 21/268 | | 21/288 |
| | 21/336 | | 29/78 |
| | 29/786 | | 6 2 7 G |
| | | | 6 2 4 |
| 審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 9 頁) | | | |

(21) 出願番号 特願2001-108057(P2001-108057)

(22) 出願日 平成13年4月6日 (2001. 4. 6)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 広島 安

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅登 (外1名)

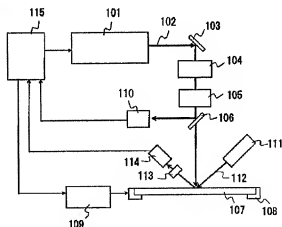
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜半導体装置の製造方法および製造装置

(57) 【要約】

【課題】 優良な結晶性の多結晶半導体薄膜を安定して製造する。

【解決手段】 波長が370nm以上710nm以下のパルスレーザ光を半導体膜に照射してレーザ熱処理を行う。この時半導体膜上の前記パルスレーザ光の照射領域には検査光を照射しておき、前記パルスレーザ光の照射により生じる前記検査光の反射光の強度変化を検出する。そして前記反射光の強度変化から所定の半導体膜の結晶化状態が得られたか確認し、所定の結晶化状態が得られたことが確認されたら、前記パルスレーザ光照射位置に対する前記半導体膜の位置を相対的に移動させる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成された珪素を主体とする結晶性半導体膜を能動層として用いる薄膜半導体装置の製造において、基板上に堆積された前記半導体膜に 370 nm 以上 710 nm 以下の波長を有するパルスレーザ光を照射する工程を含み、その際前記半導体膜上の前記パルスレーザ光の照射領域には検査光を照射し、前記パルスレーザ光の照射により生じる前記検査光の反射光の強度の変化を検出し、前記反射光の強度の変化から所定の半導体膜の結晶化状態が得られたかを確認し、前記半導体膜に対して所定の結晶化状態が得られたら、パルスレーザ光照射位置に対する半導体膜の位置を相対的に移動させる工程を具備していることを特徴とする薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項 2】 前記パルスレーザ光は N 型イオンドープあるいは Y 型イオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質とした Q スイッチ発振固体レーザの高調波であることを特徴とする請求項 1 に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項 3】 前記パルスレーザ光は Q スイッチ N 型 YAG レーザの第 2 高調波であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項 4】 前記パルスレーザ光の波長が約 532 nm であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項 5】 基板上に形成された珪素を主体とする結晶性半導体膜を能動層として用いる薄膜半導体装置の製造において、基板上に堆積された前記半導体膜に 370 nm 以上 710 nm 以下の波長を有するパルスレーザ光を照射する手段と、前記パルスレーザ光の照射位置に対する半導体膜の位置を相対的に移動させる駆動手段と、前記半導体膜上の前記パルスレーザ光の照射領域に検査光を照射する手段と、前記パルスレーザ光の照射により生じる前記検査光の反射光の強度の変化を検出する手段と、前記反射光の強度の変化から所定の半導体膜の結晶化状態が得られたかを確認する半導体膜結晶化状態確認手段と、前記半導体膜結晶化状態確認手段によって前記半導体膜の所定の結晶化状態が得られたら、前記駆動手段によってパルスレーザ光の照射位置に対する半導体膜の位置を相対的に移動させる制御手段を具備していることを特徴とする薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項 6】 前記パルスレーザ光は N 型イオンドープあるいは Y 型イオンドープの結晶あるいはガラスを励起媒質とした Q スイッチ発振固体レーザの高調波であることを特徴とする請求項 5 に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項 7】 前記パルスレーザ光は Q スイッチ N 型 YAG レーザの第 2 高調波であることを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項 8】 前記パルスレーザ光の波長が約 532 nm

m であることを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は 600℃ 程度以下、好ましくは 425℃ 程度以下の比較的低温にて結晶性が極めて優れている多結晶性半導体膜を形成する技術に関する。取り分けこの技術を用いて多結晶珪素薄膜トランジスタに代表される薄膜半導体装置を安定的かつ効率よく製造する方法および製造装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 多結晶珪素薄膜トランジスタ (p-Si TFT) に代表される薄膜半導体装置を汎用ガラス基板を使用し得る 600℃ 程度以下、或いは非晶質珪素薄膜トランジスタ (a-Si TFT) の製造温度と同程度の 425℃ 程度以下の低温にて製造する場合、基板上に堆積された非晶質珪素膜に対して Xec1 エキシマレーザ (波長 308 nm) を照射し、前記非晶質珪素膜を多結晶珪素膜とするレーザ熱処理技術が用いられている。

【0003】 このレーザ熱処理技術では、エキシマレーザ装置から出射されたレーザ光を光学装置によって均一な強度分布を有するレーザ光とし、またこのレーザ光のビーム形状を所定の大きさに成形して基板の非晶質珪素膜に対してパルス状に照射する。このとき、Xec1 エキシマレーザ光の非晶質珪素および多結晶珪素における吸収係数はそれぞれ、139nm⁻¹、149nm⁻¹と大きく、またその差は約 7% 程度と小さい。よって照射されたレーザ光は、非晶質や多結晶といった珪素膜の結晶性に問わず、珪素膜の表面近傍 15 nm 付近までで約 9割が吸収される。レーザ光を吸収した珪素膜は温度が上昇して溶融し、その後温度が低下するに従って溶融した珪素が結晶化して、多結晶珪素膜が形成される。

【0004】 このレーザ熱処理技術を広面積の非晶質珪素膜に対して行う場合は、非晶質珪素膜の同一箇所に対してレーザ光を 1 回または複数回照射し、その後に基板を所定量移動させてレーザ光の照射領域を変え、再度レーザ光を照射する工程を繰り返して行う。一般的には、レーザパルスの間の基板の移動量は、照射されるレーザ光のビーム形状の幅よりも狭く設定され、非晶質珪素膜の同一箇所には複数回のレーザ光が照射するようにしている。この主な目的は同一箇所へのレーザ照射回数を増やすことで珪素膜の結晶性を高めることである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながらこれらの従来のレーザ熱処理技術では、エキシマレーザ装置が有する不安定性によりレーザ光のバースエネルギーの厳密な制御が困難であり、これによる僅かなバースエネルギーの変動によっても半導体膜質は同一基板内においてす

ら大きなばらつきを示していた。すなわち前記広面積の非晶質珪素膜に対して行うレーザ熱処理技術において、工程の途中でレーザ光のパルスエネルギーに変動やばらつきがあっても、また更には非晶質珪素膜については同基板内で膜質等のばらつきがあってもこれらを全く考慮せず、すなわちレーザ熱処理中における珪素膜の結晶化状態の変化には関係なく、レーザ光の照射領域を一定の所定量移動させ、レーザ熱処理を行っていた。このため、珪素膜の結晶性の観点から見ると、同一基板内の珪素膜においてもレーザ光の照射量に過不足の部分が発生してしまい、結果として珪素膜中の結晶化状態が安定せず、そこに形成する薄膜半導体装置の特性を均一にすることができない問題があった。

【0006】この問題の影響を緩和するため、珪素膜全体に対して必要以上に多くの照射回数のレーザ照射を行い、エキシマレーザ光のパルスエネルギーのばらつきの影響を見かけ上できるだけ小さくしようとする方法もある。しかしこの方法は効率が悪く、処理時間の増大を招き生産性が損なわれてしまう。また珪素膜表面の表面荒れが大きくなり、最悪の場合は珪素膜が部分的にアブレーションされ基板から剥離してしまう。多結晶珪素膜を能動層としてコプレーナ型あるいは正スタガ型MOSトランジスタを製作する場合、表面荒れが大きいとゲート酸化膜がショートしてしまうという問題があり、また珪素膜が部分的に剥離していると、そもそもMOSトランジスタを形成することができない。

【0007】また前記問題の解決を図る別の従来技術として、特開2000-174286号公報に開示されている様に、レーザ熱処理時に電子線折回やX線折回等を行って珪素膜の結晶性を評価し、その評価結果を用いて前記レーザ熱処理の工程を制御する方法がある。しかしこの方法では電子線源やX線源が必要となるため、レーザ熱処理装置が大規模化、高価となる恐れがある。また特開2000-133614号公報にある様に、熱処理を行うエキシマレーザとは別に検査用のレーザ光を珪素膜上に照射し、その反射光から珪素膜の結晶性を把握してレーザ熱処理工程を制御する方法がある。しかしこの方法では、珪素膜が溶融している時点の状態は反射光によって把握できるものの、固化した時の珪素膜の結晶性を直接的に把握するものではなかった。そのため珪素膜の結晶性は、検査用のレーザ光の反射光強度の変化とその変化が生じている時間幅の両方によって実験的に対応付けられており、レーザ熱処理工程時の結晶性の判定方法としては複雑なものとなっていた。

【0008】そこで本願発明は上述の諸事情を鑑み、その目的とするところは薄膜半導体装置の製造にけるレーザ熱処理工程において優良な薄膜半導体装置を安定かつ容易に製造する製造方法および製造装置を提供する事にある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本願発明の薄膜半導体装置の製造方法は、基板上に形成された珪素を主体とする結晶性半導体膜を能動層として用いる薄膜半導体装置の製造において、基板上に堆積された前記半導体膜に370nm以上710nm以下の波長を有するパルスレーザ光を照射する工程を含み、その際に前記半導体膜上の前記パルスレーザ光の照射領域には検査光を照射し、前記パルスレーザ光の照射により生じる前記検査光の反射光の強度の変化を検出し、前記反射光の強度の変化から所定の半導体膜の結晶化状態が得られたか確認し、前記半導体膜に対して所定の結晶化状態が得られたら、パルスレーザ光照射位置に対する半導体膜の位置を相対的に移動させる工程を具備していることを特徴としているものである。この様に半導体膜の結晶化状態を確認し、確認が得られたらパルスレーザ光照射位置に対する半導体膜の位置を相対的に移動させることにより、所望の半導体膜の結晶化状態が安定かつ効率的に得られ、半導体膜全体が均一に結晶化される。

【0010】この様なパルスレーザ光として最も優れているのがNd:YAGレーザの第2高調波(YAG2 ω)と略称する。その波長は532nmである。

【0011】本願発明の薄膜半導体装置の製造装置は、基板上に形成された珪素を主体とする結晶性半導体膜を能動層として用いる薄膜半導体装置の製造において、基板上に堆積された前記半導体膜に370nm以上710nm以下の波長を有するパルスレーザ光を照射する手段と、前記パルスレーザ光の照射位置に対する半導体膜の位置を相対的に移動させる駆動手段と、前記半導体膜上の前記パルスレーザ光の照射領域に検査光を照射する手段と、前記パルスレーザ光の照射により生じる前記検査光の反射光の強度の変化を検出する手段と、前記反射光の強度の変化から所定の半導体膜の結晶化状態が得られたか確認する半導体膜結晶化状態確認手段と、前記半導体膜結晶化状態確認手段によって前記半導体膜の所定の結晶化状態が得られたら、前記駆動手段によってパルスレーザ光の照射位置に対する半導体膜の位置を相対的に移動させる制御手段を具備していることを特徴とするものである。

【0012】この様な薄膜半導体装置の製造装置におけるパルスレーザ光として最も優れているのがYAG2 ω レーザである。

【0013】

【発明の実施の形態】本願発明はガラスの熔点温度が550℃程度から650℃程度といった低融熱性ガラス基板、あるいは高融熱性プラスチック基板などの各種透明基板上に形成された結晶性の半導体膜を能動層として用いる薄膜半導体装置の製造方法および製造装置に関り、基板上に堆積された珪素を主体とした半導体膜に370nm以上710nm以下の波長を有するパルスレーザ光を照射するレーザ熱処理工程において、前記パルス

レーザ光照射領域である前記半導体膜上には検査光を予め照射しておき、前記パルスレーザ光照射時に生じる前記検査光の反射光の強度変化を検知することにより、前記半導体膜の結晶化状態を判定しながら前記工程を進めることをその特徴とする。この様な前記波長を有するパルスレーザ光の内でも、非晶質珪素の吸収係数と多結晶珪素の吸収係数の差が大きい450 nm以上650 nm以下の波長を有するパルスレーザ光がより好ましい。

【0014】実施の形態 図1は本願発明の薄膜半導体装置の製造方法を具現化する装置の構成図である。同図において101は370 nm以上710 nm以下の波長を有するパルスレーザ光を射出するレーザ発振装置で、ここではYAG 2 ω レーザ発振装置を使用した。102はレーザ発振装置101から射出されたレーザ光、103は反射ミラー、104はバリアブルアッテネータ、105は線状ビームに変換するためのビーム成形光学系、107は半導体膜を含む被処理物、108は移動ステージである。また111は検査光を発する発光器、112は発光器から発せられた検査光、113は検査光の波長の光を透過しレーザ光102の波長の光を遮断する光学フィルタ、114は検査光の強度を検出する検出器である。レーザ光102は、バリアブルアッテネータ104で所定のパルスエネルギーに調整された後、ビーム成形光学系105に入射する。ビーム成形光学系105により線状のビームプロファイルに変換された後、レーザ光102は被処理物107に照射され、レーザ熱処理が行われる。被処理物107は移動ステージ108上に設置されており、レーザ光照射位置に対する被処理物107の位置を相対的に移動させることを可能にしている。また被処理物107の詳細は図2のようであり、ガラス基板121上に下地膜122として厚さ200 nmの酸化珪素膜をCVD (Chemical Vapor Deposition) により形成した上に、半導体膜材料として、厚さ50 nmの非晶質珪素膜123をLPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) により成膜した。

【0015】レーザ光は移動ステージ108を線状ビームの長手方向に直交した方向、すなわち線状ビームの幅方向に移動させながら照射する。この移動ステージは、駆動手段としての駆動装置109により移動されるようになっており、その制御は制御装置115により行われる。例えば制御装置115によってパルスレーザ光照射の間にステージが移動する距離を線状ビームの幅よりも短くするように制御すると、被処理物107の同一箇所にはレーザ光の異なるビームプロファイル部分が複数回照射される。またパルスレーザ光照射の間にステージが移動する距離を線状ビームの幅よりも長くするようにすると、被処理物107の同一箇所へのレーザ光のパルスは1回のみ照射されることになる。またパルスレーザ光照射の間に移動ステージを移動させなければ、被処理物107の同一箇所にはレーザ光の同一のビームプロフ

イル部分が複数回照射されることになる。

【0016】ビーム成形光学系105を通過したレーザ光102の光路にはビームスプリッター106が配置され、このビームスプリッター106を通過したレーザ光102が被処理物107に向かい、またレーザ光102の一部はビームスプリッター106で反射されてレーザ光検出手段としての検出器110に入射される。この検出器110は被処理物107に照射されるレーザ光の状態を検出し、ここではレーザ光のパルス波形およびパルスエネルギーが検出できるバイアスフォトディテクタを使用した。

【0017】被処理物107におけるレーザ光102の照射領域には、発光器111から発せられた検査光112が照射されている。この発光器111はHe-Neレーザ(波長633 nm)やArレーザ(波長488 nm)などの可視光を発生するもので、また長時間にわたって出力が一定値に安定している連続光が望ましい。ここではHe-Neレーザを用いた。またこのHe-Neレーザ光は、被処理物107の法線に対して、例えば約10°の角度から照射した。

【0018】発光器111から発せられた検査光112は、被処理物107上のレーザ光102の照射領域と同じ領域に照射される。被処理物107に照射された検査光112は、被処理物107の表面で反射される。被処理物107の表面で反射された検査光112は、光学フィルタ113を透過して、検出器114に入射し、その強度が検出される。ここで光学フィルタ113は検査光112の波長の光は透過し、レーザ光102の光は遮断するものであり、検出器114にはレーザ光102の被処理物107表面での反射光、散乱光は検出されない。また検出器114は、検査光の強度変化が検出できるバイアスフォトディテクタを使用した。検出器114の信号は、制御装置115に入力される。

【0019】制御装置115は、検出器110で検出されるレーザ光102のパルスエネルギー、および検出器114で検出される検査光112の強度変化から被処理物107における半導体膜が所定の結晶化状態になったか確認する半導体膜結晶化状態確認手段の機能、この半導体膜結晶化状態確認手段によって所定の半導体膜の結晶化状態が得られたことが確認されたら、駆動装置109によってレーザ光102の照射位置に対する被処理物107の位置を相対的に移動させる制御手段の機能を有している。

【0020】前記半導体膜結晶化状態確認手段の機能では、検出器110で検出されるレーザ光102のパルスエネルギーに対する検出器114で検出される検査光112の反射光強度の変化の割合を算出する。そしてその割合が所定値より小さいかを確認する。所定値については、半導体薄膜の結晶化状態と、レーザ光のパルスエネルギーに対する検査光の反射光強度の変化の割合の関係

から予め求めて設定する。半導体薄膜の結晶化状態と、レーザ光のバルスエネルギーに対する検査光の反射光強度の変化の割合に関係がある事については後に述べる。

【0021】次に、被処理物107の非晶質珪素膜123にレーザ光102を照射して熱処理することで非晶質珪素膜123を多結晶珪素膜に結晶化させる結晶化方法について説明する。

【0022】370nm以上710nm以下の波長を有するパルスレーザ光を出射するレーザ発振装置101からのレーザ光102を、反射ミラー103、バリアブルアッテネータ104、線状ビームに変換するためのビーム成形光学系105、およびビームスプリッター106を通じて、移動ステージ108に載置された被処理物107の表面、すなわち半導体膜である非晶質珪素膜123に照射して熱処理をする。この熱処理によって非晶質珪素膜123が溶融して結晶化する。

【0023】この時ビームスプリッター106でレーザ光102の一部を反射して検出器110で検出する。また被処理物107上のレーザ光102照射部分には、予め発光器111からの検査光112が照射されている。検査光112は被処理物107の表面、すなわち非晶質珪素膜123で反射するが、レーザ光102の照射によりその反射光の強度は変化し、その反射光の強度変化は光学フィルタ113を通過して検出器114で検出される。

【0024】制御装置115は検出器110および検出器114から入力される信号から、レーザ光102のバルスエネルギーに対する検査光112の強度変化の割合を算出し、その割合が所定値より小さいかを確認する。

【0025】前記割合が所定値より小さいことが確認されたら、駆動装置109により移動ステージ108を、ビーム成形光学系105によって線状ビームに成形されたレーザ光102の幅方向に例えば1.5 μ m \sim 3.0 μ m移動させ、レーザ光102の照射位置に対する被処理物107の位置を相対的に移動させ、再度レーザ光102の照射によって熱処理を行う。

【0026】したがってレーザ光102のバルスエネルギーに対する検査光112の反射光強度の変化の割合が所定値を上回っている場合には、仮にある照射領域にレーザ光102を所定回数照射したとしても移動ステージは移動せず、非処理物107の同一箇所を再度レーザ照射を行い、実際に所定値以下の前記割合が得られたことが確認されてから、被処理物107に対するレーザ光102の照射領域を所定量移動させる。これにより、被処理物107の非晶質珪素膜123全体を均一な結晶化状態にすることができる。

【0027】ここで、珪素を主体とした半導体膜に370nm以上710nm以下の波長を有するパルスレーザ光を照射するレーザ熱処理技術について述べる。本技術は特開2000-269133号公報にて開示されてい

る。

【0028】図3に光の波長に対する非晶質珪素および多結晶珪素の吸収係数を示す。図3の横軸は光の波長で、縦軸が吸収係数である。破壊 (Amorphous Silicon) が非晶質珪素を表し、実線 (Polysilicon) は多結晶珪素を示している。図3から分かるように、370nm以上710nm以下の波長領域では光の吸収係数は多結晶珪素中よりも非晶質珪素中の方が大きい。特に450nm以上650nm以下の波長領域の光では、非晶質珪素中の吸収係数が多結晶珪素中の吸収係数の3倍以上大きい。また例えば波長が532nmであるYAG2 ω レーザ光の非晶質珪素での吸収係数 μ_{a1} (YAG2 ω)と多結晶珪素での吸収係数 μ_{a2} (YAG2 ω)は、 μ_{a1} (YAG2 ω) = 0.01723nm $^{-1}$ 、 μ_{a2} (YAG2 ω) = 0.00426nm $^{-1}$

と、非晶質珪素での吸収係数の方が多結晶珪素での吸収係数より4倍余り大きくなっている。ここで多結晶膜は微視的には結晶成分と非晶質成分とから構成されている。結晶成分とは結晶粒内で積層欠陥等の欠陥が非常に少ない部位で、略単結晶状態にある箇所と言える。一方、非晶質成分とは結晶粒界や結晶粒内の欠陥部などの構造秩序に乱れが見られる部位で、非晶質状態にある箇所と言える。レーザ光を照射して結晶化を進めるレーザ熱処理方法では、非溶融部が冷却固化過程における結晶成長の核となる。高い構造秩序を有する結晶成分が結晶成長核となれば、そこから成長する結晶はやはり高い構造秩序を有する高品質な結晶化膜となる。これに反して構造秩序の乱れた部位が結晶成長核となれば、積層欠陥などが冷却固化過程にそこから成長するので、最終的に得られる結晶化膜は欠陥などを多く含んだ低品質な膜となる。従って優良な結晶化膜を得るには、多結晶膜中の非結晶成分を優先的に溶融させれば良いことになる。本願発明で用いる波長領域のレーザ光では、照射レーザ光の非晶質珪素における吸収係数が多結晶珪素における吸収係数よりも大きいので、非晶質成分が結晶成分に比べて優先的に加熱される。

【0029】具体的に、結晶粒界や欠陥部が容易に溶融し、略単結晶状態にある良質な結晶成分が結晶成長核となるので、欠陥部や不対結合対等が大幅に低減し、粒界も構造秩序の高い対応粒界が支配的となる。この事は半導体膜の電気特性からすると、エネルギーバンド図における禁制帯中央部付近の捕獲単位密度を大きく減少させるとの効果をもたらす。またこの様な半導体膜を薄膜半導体装置の能動層 (ソース領域やドレイン領域、チャネル形成領域) に用いると、オフ電流値が小さく、急峻な閾値下特性を示し (サブスレッショールドスイング値が小さく)、閾値電圧の低いトランジスタを得ることになる。エシキマレーザを用いた従来技術でこの様な優れた薄膜半導体装置がなかなか製造できなかったのは、溶融結晶化に適した波長を有するレーザ光を使用してお

らず、結晶成分も非晶質成分も一緒に溶融させていたためと言える。

【0030】次に、半導体膜に370nm以上710nm以下の波長を有するパルスレーザー光を照射するレーザー熱処理技術において、半導体膜の結晶化状態と、その半導体膜に照射するレーザー光のパルスエネルギーに対する検査光の反射光強度の変化の割合に関係がある事について*

$$I(x)/I(0) = \exp(-\mu_{\text{非}} \cdot x)$$

吸収係数 $\mu_{\text{非}}$ がYAG2wレーザー光の非晶質珪素の吸収係数 $\mu_{\text{非}}$ (YAG2w)の場合と、多結晶珪素の吸収係数 $\mu_{\text{非}}$ (YAG2w)の場合、また従来技術のXeClエキシマレーザー(波長308nm)の非晶質珪素の吸収係数 $\mu_{\text{非}}$ (XeCl)と、多結晶珪素の吸収係数 $\mu_{\text{非}}$ (XeCl)の場合について式1の関係を図4に示す。

【0032】YAG2wレーザー光を非晶質珪素膜に照射した場合(aSi(YAG2w))、その膜厚を50nmとすると、透過するレーザー光は入射したレーザー光の約4割の強度となる。すなわち入射したレーザー光の約6割のパルスエネルギーは非晶質珪素膜に吸収され、その非晶質珪素膜は高温となり溶融する。溶融した珪素膜の内部では自由電子が放出され、珪素膜は金属のように光沢のある表面となる。すなわちそこに照射されている検査光の反射光強度はこの時大きく増加する。一方多結晶珪素膜(pSi(YAG2w))では、YAG2wレーザー光の吸収係数が小さいため、膜厚50nmの多結晶珪素膜を透過するレーザー光は、入射したレーザー光の約8割の強度である。すなわち入射したレーザー光の多くは透過し、珪素膜の溶融に寄与するレーザー光のパルスエネルギーは入射したレーザー光の約2割のみである。よって、非晶質珪素膜と多結晶珪素膜に同じパルスエネルギーのレーザー光を照射した場合は、検査光の反射光強度の変化は多結晶珪素膜の場合の方が非晶質珪素膜の場合に比べて小さくなる。

【0033】図5に発明者等による実験データを示す。図5(a)は実際に使用したYAG2wレーザー光の波長波形で、図1における検出器110より検出した信号に相当する。図5(b)は前記YAG2wレーザー光を非晶質珪素膜に照射した時の検査光の反射光強度の波形、図5(c)は前記YAG2wレーザー光を非晶質珪素膜の同一個所に複数回照射してこれを結晶化し、再度、前記同一個所に前記YAG2wレーザー光を照射した時の検査光の反射光強度の波形である。珪素膜が非晶質の場合は検査光の反射光強度の変化(ΔI)が大きく、一方、結晶化した珪素膜にレーザー光を照射した場合には検査光の反射光強度の変化(ΔI)が小さい。すなわち珪素膜の結晶性により、YAG2wレーザー光の照射時の検査光の反射光強度の変化は明らかに異なる。ここで図5(a)に示すパルスレーザー光の1パルスのパルス波形を積分した値は、そのレーザー光のパルスエネルギーに対応するか

*て説明する。

【0031】半導体膜中ではレーザー光は吸収され、入射したレーザー光は指数関数的にその強度が減少する。今、入射したレーザー光の強度を $I(0)$ とし、珪素を主体とした半導体膜中での表面からの距離を x (nm)、場所 x での強度を $I(x)$ とすると、これらの間には吸収係数 $\mu_{\text{非}}$ を用いて次の関係式が成り立つ。

$$(式1)$$

ら、一定のパルスエネルギーのYAG2wレーザー光を珪素膜に照射した場合は、検査光の反射光強度の変化(ΔI)のみを検出することで、珪素膜の結晶性の変化を把握することができる。

【0034】図5では同一のパルスエネルギーをもつYAG2wレーザー光を結晶性の異なる珪素膜に照射したが、レーザー発振装置のパルスエネルギーの変動などによって異なるパルスエネルギーが珪素膜に照射された場合については、照射したレーザー光のパルスエネルギーを検出し、これと検査光の反射光強度の変化の割合を算出することで、珪素膜の結晶性と対応づけることができる。

【0035】図1に示す実施の形態1では、検出器114によって珪素膜を反射した検査光112の反射光強度の変化(ΔI)を検出し、これと検出器110で検出するYAG2wレーザー光のパルスエネルギーの割合を算出することで、珪素膜の結晶化状態を把握することができ、そして把握した結晶化状態に応じて、レーザー熱処理工程では即時にレーザー光の照射条件を変更することができる。つまりレーザー熱処理工程中にレーザー光自身の出力変動等の変動要因があっても、珪素膜の結晶化状態をモニタリングしているため、被処理物107に結晶化不良が発生する領域を最小限にすることができ、更に結晶化不良が発生しているにも拘わらず、被処理物107を次工程に送ることを防止することができる。

【0036】ここで、従来技術である特開2000-133614号公報と異なるのは、本願発明では検査光の反射光強度の変化(ΔI)のみを検出することで珪素膜の結晶性を把握することができる点である。すなわち、本願発明では検査光の反射光強度が変化する時間幅については検出は不要である。この事はレーザー熱処理工程における珪素膜の結晶性の判定を容易なものとし、同時に必要となる検出器などの装置も簡易なもので構成することが可能となる。

【0037】これまで述べた本願発明の原理が最も効果的に働くのは、非晶質珪素での吸収係数と多結晶珪素の吸収係数の比($\mu_{\text{非}}/\mu_{\text{非}}$)が大きい時である。図3を見ると、光の波長が450nm程度以下に650nm程度以下の時に先の比が大きくなることがわかる。従って本願発明で用いるパルスレーザー光のより好ましい波長領域は450nm程度以下に650nm程度以下と言える。

【0038】これに対しXeClエキシマレーザーを用いた従来技術では、非晶質珪素と多結晶珪素の吸収係数は

先に述べたように、 0.139 nm^{-1} と 0.149 nm^{-1} で、その差は約 7% 程度と小さい。よって、図 4 に示すように XeCl エクシマレーザ光を珪素膜に照射しても非晶質珪素膜 ($\text{aSi}(\text{XeCl})$) と多結晶珪素膜 ($\text{pSi}(\text{XeCl})$) ではほとんど違い無く、その表面近傍でパルスエネルギーが吸収され、珪素の溶融状態が形成される。よってこれから珪素膜の結晶化状態を検出することは非常に困難といえる。

【0039】以上述べたように、本願発明では非晶質珪素と多結晶珪素の吸収係数の異なるレーザ光を用いて良好な結晶化膜を形成すべくレーザ熱処理を行い、その際には前記吸収係数の違いに基づく珪素膜の溶融状態の違いを積極的に利用して珪素膜の結晶化状態を検出する。そしてその検出結果を用いて、良好な結晶状態を有する珪素膜を安定かつ効率的に形成するために前記レーザ熱処理工程の制御を行う。

【0040】実施の形態 2。実施の形態 2 では使用するレーザについて説明する。実施の形態 1 では YAG 2\omega レーザによるレーザ照射について説明した。 YAG 2\omega レーザは効率が良く、高出力のものが得られるため、レーザ熱処理の生産性が良いものが得られるというメリットがある。本願発明の主旨によれば、照射するレーザ光に関しては、基本的に非晶質珪素と多結晶珪素に対するレーザ光の吸収係数の差で決まることで、図 3 に示すように、 370 nm 以上 710 nm 以下のパルスレーザ光であれば、実施の形態 1 で述べた YAG 2\omega レーザの場合と同様の効果が得られる。従って YAG 2\omega レーザのみならず、他の Nd イオンドープの固体レーザの高調波、すなわち Nd : ガラスレーザの第 2 高調波、Nd : YLF レーザの第 2 高調波、Yb : YAG や Yb : ガラスといった Yb イオンドープの固体レーザの第 2 高調波や、Ti : Sapphire レーザの基本波または第 2 高調波を用いてレーザ熱処理を行っても良い。これらのレーザは高効率で比較的安定な発振が可能であるため、信頼性の高いレーザ熱処理方法や装置を提供できる。

【0041】

【発明の効果】以上詳述してきたように、従来ばらつきが大きかった結晶性半導体膜を本願発明では結晶化工程

を工夫することにより、均一で高品質な結晶性半導体膜とすることができ、これにより薄膜トランジスタに代表される薄膜半導体装置の電気特性を著しく向上させ、同時にこのような薄膜半導体装置を安定的に製造し得るなどの効果が認められる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本願発明の実施の形態 1 を示すレーザ熱処理装置の構成図である。

【図 2】図 1 におけるレーザ熱処理を施す被処理物の構造を示す模式図である。

【図 3】光の波長と半導体における吸収係数との関係を示した図である。

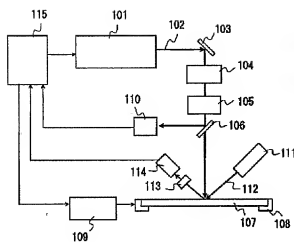
【図 4】半導体膜厚と膜中での光強度との関係を説明した図である。

【図 5】(a) は珪素膜に照射した YAG 2\omega レーザ光のパルス波形図、(b) および (c) は其々非晶質珪素膜および多結晶珪素膜に対して照射した検査光の反射光強度の波形を示す図である。

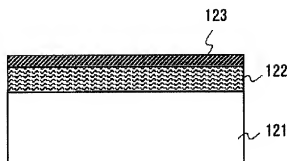
【符号の説明】

- 101 YAG 2\omega レーザの発振装置
- 102 YAG 2\omega レーザの発振装置から出射されたレーザ光
- 103 反射ミラー
- 104 バリアブルアッテネータ
- 105 ビーム成形光学系
- 106 ビームスプリッター
- 107 被処理物
- 108 移動ステージ
- 109 駆動装置
- 110 検出器
- 111 発光器
- 112 検査光
- 113 光学フィルタ
- 114 検出器
- 115 制御装置
- 121 ガラス基板
- 122 下地膜
- 123 半導体膜

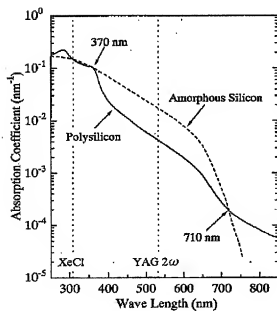
【図1】



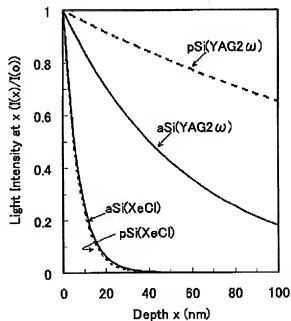
【図2】



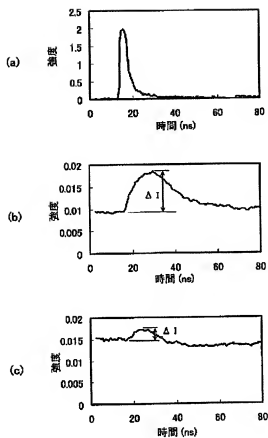
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 小川 哲也
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 時間 秀忠
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

F ターム(参考) 5F045 AA06 AB04 EB02 GB10 HA18
5F052 AA02 BA07 BA15 BB03 BB07
CA07 DA02 DB02
5F110 AA17 AA24 DD03 DD07 DD13
GG02 GG13 GG25 GG47 PP03
PP04 PP05 PP06